

УДК 628.3

**Шевченко А. А., инженер научно-технической продукции (ЗАО «Эко-Инвест», г. Чугуев, Харьковская область)**

### **ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА НАПОРНОЙ ФЛОТАЦИИ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**В статье приведены результаты лабораторных исследований по интенсификации процесса напорной флотации при очистке сточных вод молокоперерабатывающего предприятия, выполнен анализ полученных данных качества очистки сточных вод.**

**Ключевые слова:** флотация, диафрагма, коагуляционная обработка, лабораторная установка, молокоперерабатывающее предприятие

**Введение.** На сегодняшний день одним из наиболее распространенных способов предварительной очистки сточных вод предприятий пищевой промышленности является реагентная флотация. Востребованность данного метода обусловлена высокой эффективностью очистки сточных вод и универсальностью применения для различных типов промышленных стоков.

Одними из основных недостатков реагентной флотационной очистки являются значительные расходы дорогостоящих химических реагентов (коагулянт, флокулянт, щелочь).

В связи с этим возникает необходимость поиска методов интенсификации процесс реагентной флотации.

**Анализ последних исследований.** Исследования [1–3] показали, что метод напорной флотации зависит от таких основных факторов, как размеры пузырьков воздуха и удаляемых частиц, pH среды, концентрации взвешенных веществ в сточной вод, температуры и др.

На предприятиях молокоперерабатывающей промышленности в процессе переработки молока и мойки технологического оборудования, трубопроводов, тары и производственных помещений образуются высококонцентрированные сточные воды, содержащие нерастворимые хлопья белковых веществ, частицы жира, растворимый молочный сахар, растворы белковых веществ, моющих и дезинфицирующих средств.

Сточные воды молокоперерабатывающих предприятий характеризуются высокими показателями БПК, ХПК, взвешенных веществ, жиров и др.

Их содержание может в тысячи раз превышать предельно допустимые значения [4].

Производство молока и молочных продуктов относят к периодическим технологическим процессам. Учитывая этот факт, а также особенности эксплуатации оборудования, можно объяснить неравномерность по количественному и качественному составу стоков молочных производств. Только от одной периодической мойки оборудования содержание загрязняющих веществ в стоках может возрастать до четырех раз по сравнению со средними показателями.

Как показывает практический опыт и следует из технологических нормативов [4] водоотведения, при обработке 1 тонны молока образуются сточные воды, общую степень загрязненности которых можно оценить по ХПК равному 10–15 кг. Реальные показатели загрязнения воды получают после анализа конкретного производства, исходя из ассортимента молочной продукции.

**Методика исследований.** Объектом исследования интенсификации процесса очистки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий было выбрано предприятие ЗАО «Молочный комбинат «Авида» (РФ, Белгородская обл., г. Старый Оскол, Северная промкомзона). Лабораторные исследования проводились в период второго полугодия 2012 г.

**Постановка задачи.** Основной задачей выполненных исследований было разработать метод интенсификации процесса напорной реакгентной флотации, который позволит снизить дозы применяемых реактивов.

**Результаты исследований.** Сточные воды комбината в основном состоят из производственных стоков (мойка цистерн, насосов и трубопровода, технологического оборудования и производственных линий, цехов), хозяйственно-бытовых стоков и стоков котельной, образующихся после промывки фильтров водоподготовки (табл. 1). Также планируется создание автомойки, что приведет к появлению дополнительного источника загрязнения сточных вод.

Каждый цех имеет свой режим работы, который зависит от поступивших на производство заказов продукции и может достигать 24 часов в сутки. Поэтому наблюдается существенная неоднородность в сбросе сточных вод предприятия на протяжении рабочего дня. Коэффициент часовой неравномерности составляет  $K_h = 2,14$ .

Таблица 1

Источники образования сточных вод предприятия  
(по состоянию на октябрь 2012 г.)

№ п/п	Источник	$V_{\text{абсолют.}}, \text{ м}^3/\text{мес.}$	$V_{\text{относит.}}, \%$
1.	Аппаратный цех	3 968	23,4
2.	Цех розлива	6 862	40,4
3.	Творожный цех	781	4,6
4.	Центральная мойка	481	2,9
5.	Мойка цистерн	25	0,1
6.	Котельная	814	4,8
7.	Столовая	186	1,1
8.	Хоз.-бытовые и др.	3 860	22,7
<b>Всего:</b>		<b>16 977</b>	<b>100</b>

Расход сточных вод за сутки в среднем составляет приблизительно  $550 \text{ м}^3$ ; в среднем за месяц – приблизительно  $17\,000 \text{ м}^3$  (по состоянию на октябрь 2012 г.).

Исследование среднесуточного количества переработанного молока за период с декабря 2011 г. по октябрь 2012 г. показывает, что существует небольшая сезонность работы предприятия. Отклонения от среднего, за год могут достигать 25%. Однако, это незначительно сказывается на среднемесячный расход воды (отклонения до 10%). В среднем, за исследуемый период времени, комбинат перерабатывал 217,8 тонн молока в сутки.

Основными загрязнителями сточных вод ЗАО «Молочный комбинат «Авида» являются: легкоокисляющиеся и нестойкие органические соединения, масла и жиры, минеральные вещества (табл. 2). Эти загрязнители являются характерными для молокоперерабатывающих предприятий.

Проведенные исследования показали, что загрязнение сточных вод предприятия сывороткой, приводит к значительному ухудшению их качества. Несмотря на это, независимо от наличия в сточных водах сыворотки, основными загрязнителями являются взвешенные вещества, фосфаты, жиры, легкоокисляющиеся и нестойкие органические соединения (БПК<sub>5</sub>, ХПК).

В связи с этим для очистки сточных вод ЗАО «Молочный комбинат «Авида» разработана следующая комплексная двухэтапная система очистки, включающая: механическую и физико-химическую (1 этап), и, дополнительно, биологическую очистку (2 этап). Также, для сокращения объемов осадка предполагается его обезвоживание.

Таблица 2

Данные о качестве сточных вод до обследования

№ п/п	Показатель	Значение	Нормативные требования	Ед. измерения
1.	Водородный показатель	8,3 – 11,3	6,5 – 8,5	ед. рН
2.	Взвешенные вещества	115	150	мг/дм <sup>3</sup>
3.	ХПК	5 180	150	мгО/дм <sup>3</sup>
4.	БПК <sub>5</sub>	2 900	66,7	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
5.	Сульфаты	36	500	мг/дм <sup>3</sup>
6.	Хлориды	65	350	мг/дм <sup>3</sup>
7.	Железо общее	3,5	1,0	мг/дм <sup>3</sup>
8.	Азот аммонийный	4,3	5,0	мг/дм <sup>3</sup>
9.	Нефтепродукты	2,7	2,3	мг/дм <sup>3</sup>
10.	Жиры	247	1,1	мг/дм <sup>3</sup>
11.	СПАВ	0,046	2,5	мг/дм <sup>3</sup>
12.	Фосфор фосфатный	0,94	1,0	мг/дм <sup>3</sup>
13.	Сухой остаток	1 748	1 000	мг/дм <sup>3</sup>

Этап физико-химической очистки реализуется на флотационной установке. Для повышения эффективности очистки сточных вод перед ней также предусматривается дозирование реагентов: коагулянтов и полимерных флокулянтов, применение которых в определенном диапазоне рН будет способствовать формированию легкоудаляемой хлопьевидной структуры загрязнений.

Для поддержания оптимальной величины рН сточной воды, предусмотрено использование системы корректировки рН.

Лабораторные исследования по изучению интенсификации процесса напорной реагентной флотации при очистке сточных вод молокоперерабатывающих предприятий были проведены с применением лабораторной флотационной установки. Схема лабораторной установки приведена на рис. 1.

Система реагентной обработки сточной воды в установке флотатора включает в себя следующие системы:

1. Емкость.
2. Система реагентной обработки – смеситель: флокуляционные трубы; статический смеситель ввода коагулянта (рис. 2); статический смеситель ввода флокулянта; рН–метр; ввод рециркуляционной воды.
3. Система рециркуляции (насыщения воздухом).
4. Система удаления пены.

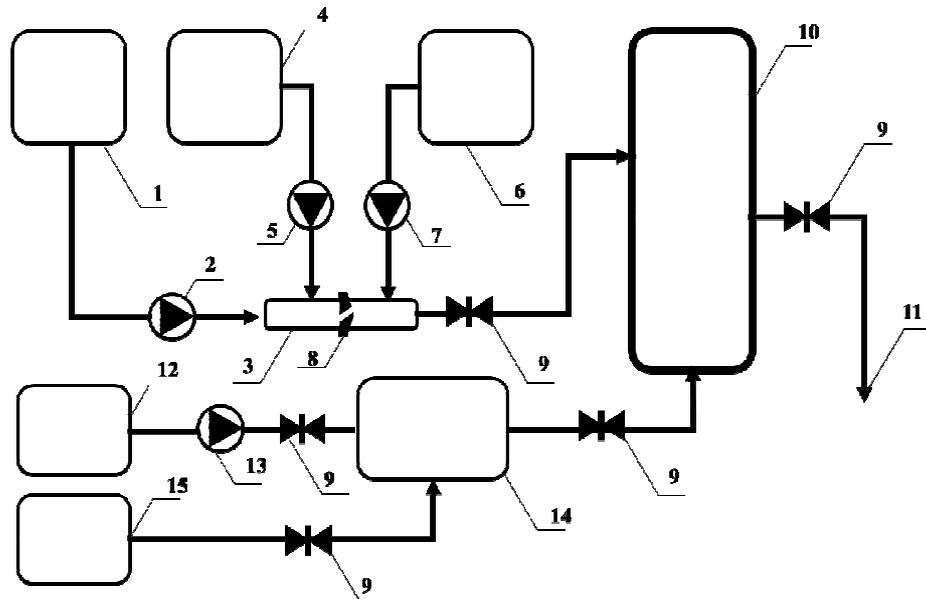


Рис. 1. Схема лабораторной установки флотационной очистки:

- 1 – бак исходных сточных вод; 2 – насос подачи сточных вод; 3 – трубный смеситель; 4 – бак с раствором коагулянта; 5 – насос дозирования раствора коагулянта; 6 – бак с раствором флокулянта; 7 – насос дозирования раствора флокулянта; 8 – диафрагма; 9 – запорно-регулирующая арматура; 10 – флотатор; 11 – осветленные сточные воды; 12 – расходный бак воды; 13 – насос повышения давления; 14 – сатуратор; 15 – компрессор

С целью уменьшения расходов реагентов, используемых в процессе флотационной обработки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий, в данной работе представлена специальная усовершенствованная конструкция смесительной вставки (диафрагмы). Эта конструкция разработана и защищена патентом на полезную модель № 147132 [5]. Конструкция диафрагмы приведена на рис. 3.

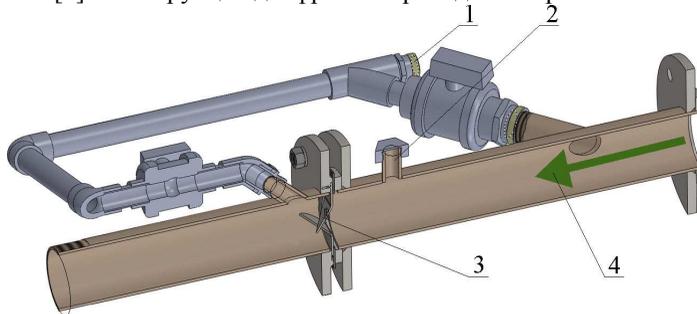


Рис. 2. Статический смеситель ввода коагулянта:

1 – штуцер ввода раствора коагулянта; 2 – резервный штуцер для подключения ввода дополнительных реагентов дюйма; 3 – диафрагма; 4 – направление движения потока

Принцип действия диафрагмы (рис. 3) состоит в следующем: в трубе установлена смесительная диафрагма, которая создает перепад давления. Часть потока перед диафрагмой забирается в обводной трубопровод  $D_{y25}$ . В этот трубопровод вводится концентрированный раствор коагулянта, далее по нему происходит смешение раствора с частью расхода сточных вод.

В результате анализа данных табл. 2, было установлено, что основными загрязнителями сточных вод молочного комбината, концентрации которых значительно превышают нормы ПДК, являются: взвешенные вещества, ХПК, БПК<sub>5</sub>, жиры и фосфор фосфатов.

Поэтому были проведены исследования по влиянию концентраций этих загрязнителей на процесс напорной флотации с применением обычной конструкции смесителя (вариант 1) и смесителя с усовершенствованной конструкцией диафрагмы в устройстве коагуляционной обработки (вариант 2). За период исследований с сентября по декабрь 2012 г. были получены такие результаты анализов сточных вод ЗАО «Молочный комбинат «Авида» (табл. 3).

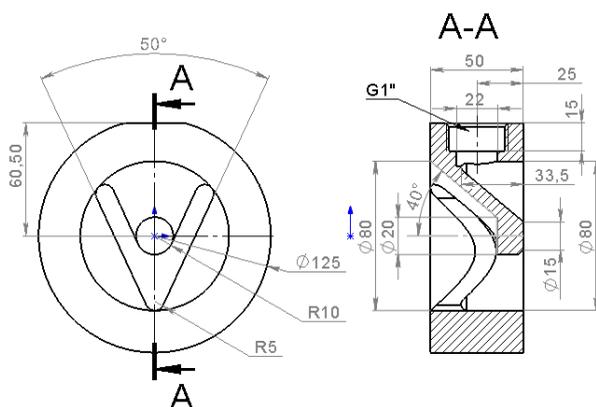


Рис. 3. Конструкция диафрагмы

В таблице 4 приведены результаты очистки сточных вод на лабораторной флотационной установке (рис. 1) по основным показателям качества сточных вод: взвешенные вещества, ХПК, БПК<sub>5</sub>, жиры, фосфор фосфатов. Данные получены по двум вариантам узла коагуляционной обработки, указанными выше в работе.

Таблица 3

Значения исходных концентраций основных загрязнений сточных вод молочного комбината за период сентябрь-декабрь 2012 г.

№ п/п	Период исследования	Показатель					
		Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Жиры, мг/дм <sup>3</sup>	Фосфор фосфатов, мг/дм <sup>3</sup>	
1	Сентябрь 2012 г.	min	1098	2257	1426	247	26,5
		max	1566	3754	2401	284	33,7
2	Октябрь 2012 г.	min	1232	2298	1411	245	25,1
		max	1620	3891	2382	261	32,9
3	Ноябрь 2012 г.	min	1154	2304	1385	254	28,9
		max	1560	3953	2346	270	31,8
4	Декабрь 2012 г.	min	1004	2337	1350	262	27,9
		max	1606	3990	2303	281	32,0
Среднее значение показателя		min	1122	2299	1393	252	27,1
		max	1580	3897	2358	274	32,6

В качестве коагулянта был применен сульфат алюминия, дозы которого варьировались в таких пределах – 60-110 мг/дм<sup>3</sup> (в расчете на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

В результате анализа данных табл. 4, можно сделать следующие выводы:

– при работе лабораторной установки по варианту 1 оптимальной дозой реагента является доза 82-85 мг/дм<sup>3</sup> (в расчете на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), а по варианту 2 (с применением усовершенствованной конструкции диафрагмы) оптимальная доза – 70-76 мг/дм<sup>3</sup> (в расчете на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>);

– при установленных оптимальных дозах коагулянта сульфата алюминия для вариантов 1 и 2 эффективность очистки сточных вод ЗАО «Молочный комбинат «Авида» составляла: по взвешенным веществам – 94,6-96,3%; по ХПК – 36,1-40,5%; по БПК<sub>5</sub> – 34,2-39,2%; по жирам – 91,5-94,5%; по фосфору фосфатов – 63,1-64,5%.

Таблица 4

Эффективность очистки сточных вод молокоперерабатывающего предприятия на лабораторной флотационной установке

Доза реагента сульфата алюминия (в расчете на Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), мг/дм <sup>3</sup>	Эффективность очистки, %									
	по взвешенным веществам		по ХПК		по БПК <sub>5</sub>		по жирам		по фосфору фосфатов	
	вариант 1	вариант 2	вариант 1	вариант 2	вариант 1	вариант 2	вариант 1	вариант 2	вариант 1	вариант 2
60	89,7	93,2	27	30,2	26,1	29,5	90,4	92,7	56,1	59,5
70	94,6	96,3	31,5	36,0	30,4	34,2	91,6	94,6	57,8	63,2
80	96,3	96,4	35,8	40,0	33,8	38,6	94,6	93,9	63,1	64,5
90	95,2	94,7	40,5	39,5	39,2	37,7	93,8	92,7	61,5	59,1
100	95,1	94,6	38,5	36,0	37,3	37,1	92,4	91,9	60,1	58,5
110	93,6	94,2	34,5	35,5	34,0	33,2	91,6	91,9	57,8	57,1

Примечание: в таблице приведены средние значения эффективности очистки сточных вод молокоперерабатывающего предприятия за весь период исследований.

**Вывод.** Из указанного следует, что при применении усовершенствованной конструкции диафрагмы (вариант 2) доза коагулянта сульфата алюминия (в расчете на  $Al_2O_3$ ) снижается на 10,6-14,6%, при этом эффективность очистки сточных вод не изменяется и примерно равна в обоих вариантах.

1. Рулёв Н. Н. Сепарация разбавленных тонкодисперсных водомасляных эмульсий ультрафлокуляцией и флотацией / Н. Н. Рулёв, В. Я. Королев, В. А. Зубкова, В. В. Лукьянова. – К. : Химия и технология воды, 2010. – Т. 32, № 6. – С. 632–642. 2. Ксенофонтов Б. С. Возможности доочистки сточных вод с использованием комбинированных флотомашин с фильтрующими элементами [Текст] / Б. С. Ксенофонтов, С. Н. Капитонова, А. С. Козодаев и др. // Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 9. – С. 32–37. 3. Ксенофонтов Б. С. Очистка воды и почвы флотацией / Б. С. Ксенофонтов. – М. : Новые технологии. – 2004. – 224 с. 4. Очистные сооружения молокозаводов. Процесс очистки сточных вод молокозаводов: основные показатели загрязнений, методы и степень водоочистки. Оборудование очистных сооружений для молочных производств: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.voda.ru/articles/ochistnyie-molokozavodov/vodoochistnoe-oborudovanie> 5. Шевченко А. А. Патент на полезную модель № 147134 Устройство для коагуляционной обработки сточной жидкости [Текст] / А. А. Шевченко и др. / Федеральная служба по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ) – Патентообладатель ЗАО НПФ «ЭкоТОН». – Заявка 10.07.2014 г. – Опубликовано 26.09.2014 г.

Рецензент: д.т.н., профессор Душкин С. С. (ХНУГХ, г. Харьков)

---

**Шевченко А. А., інженер з науково-технічної продукції**  
(ЗАТ «Еко-Інвест», м. Чугуєв, Харківська область)

## **ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ НАПОРНОЇ ФЛОТАЦІЇ ПІД ЧАС ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД МОЛОКОПЕРЕРОБЛЮЮЧИХ ПІДПРИЄМСТВ**

В статті наведені результати лабораторних досліджень з інтенсифікації процесу напірної флотації під час очистки стічних вод молокопереробного підприємства, виконано аналіз отриманих даних якості очистки стічних вод.

**Ключові слова:** флотація, діафрагма, коагуляційна обробка, лабораторна установка, молокопереробне підприємство.

---

**Shevchenko A. A., Engineer of Scientific and Technical Production**  
(LLC «Eko–Invest», Chuguev, Kharkiv region)

**LABORATORY RESEARCHES OF PRESSURE FLOTATION  
INTENSIFICATION DURING WASTEWATER TREATMENT OF  
MILK PROCESSED INDUSTRIES**

**The article presents the results of laboratory studies on the intensity–  
operations intensification of pressure flotation process at the  
wastewater treatment milk processing enterprises, performed the  
analysis of the received data the quality of wastewater treatment.**

***Keywords:* flotation, aperture, coagulating processing, laboratory plant,  
milk processing plant.**

---